

# 利用奇異值分解法探討熱帶大氣與海洋交互作用

張振璋 余嘉裕

中國文化大學地學研究所大氣科學組

## 摘要

本文採用 NCEP/NCAR 再分析資料之近地面風場、重建月平均海平面溫度資料，利用奇異值分解法來探討大氣與海洋交界面之耦合特徵，研究結果發現，海平面溫度與近地面風場。

然後使用奇異值分解法獲得之耦合模 (couple mode) 作為基礎函數，有顯著之年代際 (interdecadal) 和年際 (interannual) 耦合模，年代際變異中心位於印度洋、東太平洋冷舌，以及北半球中太平洋，後者兩前者呈現反相位分佈；年際變異中心位於赤道中太平洋以及西太平洋和 ENSO 有關。透過海平面溫度反求當時之近地面風場值，並與真實風場校驗且做一討論與檢討，為了瞭解其模式模擬之效果，本研究設計三種實驗校驗之，1) 模擬 1997/1998 El Nino 事件現象，2) 討論 1976 年前 (1956-1975) 與 1976 年後 (1982-2001) 之年代際 (interdecadal) 變化差異，3) 測試海平面溫度反求近地面風場，但使用之背景耦合模不含在實驗時間內，藉此校驗來討論此模式之預報準確度。

關鍵詞：奇異值分解法，耦合模，十年際

## 一、前言

熱帶地區大氣之運動頻率與海洋相近，交互作用更為顯著，尤以 ENSO (El Nino/Southern Oscillation) 為著名之例子，海洋在熱帶地區驅動大氣運動，再透過透過大氣環流、波動，其影響亦會傳到中、低緯度地區。許多研究利用奇異值分解法 (Singular Value Decomposition, SVD) (Brethertor et al 1992, 張和余 2003)，清楚分析出海洋交界處重要之耦合時空分佈特徵，並有許多研究利用此分解法結果，推導出統計型經驗模式 (Fedorov et al 2003; Latif 1998) 並與 GCM 耦合，成為相當具有高預報能力之短期預報耦合模式 (Syu and Neelin 1995)。統計預報模式通常具有合理程度之預報能力，特別在強邊界條件時，如聖嬰-南方震盪時期 (ENSO)。在強外力邊界主導 (海溫變化為主) 下之氣候現象，動力模式預報較統計模式預報遜色許多 (Anderson 1999; Brankovic and Palmer 2000)。

由於 NCAR/NCEP、EC 等皆有提供距現

50 年以上之重建資料，所參考的資料時間背景越長，對於統計模式的發展越有幫助，本文經過長時間計算 (1956 年~2001 年) (46 年) 海平面溫度 (Sea Surface Temperature, SST) 與 1000hpa 風場 (Wind) SVD 結果，清楚顯示出年代際變化，有鑑於統計模式對於短期氣候預報上之優點，本文將藉由 SST 與 Wind 之 SVD 計算結果，詳細討論以不同時間為經驗大氣模式背景對於短期氣候預報之準確度比較。由於現將近入另一個年代際變化期，本文亦討論年代際變化對於 ENSO 之預報準確度影響，以助於統計預報模式不會因氣候上年代際變化而準確度降低。

## 二、資料分析與研究方法

本文探討近海平面之溫度與風切交互關係，採用資料包括 NCEP/NCAR (National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research) 再分析之月平均 1000hpa，空間解析度為  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  經緯網格之風場資料，所研究之時間尺度為 1956

~2001 年，共 46 年，因此海平面溫度方面採用 Reconstruction 重建資料，空間解析度為  $2.0^{\circ} \times 2.0^{\circ}$  經緯網格。

為了瞭解兩物理量之時間與空間特徵，本文採用奇異值分解法 (Singular Value Decomposition 簡稱 SVD)，透過求解兩變數 (或多變數) 空間與時間資料交互協方差矩陣 (cross co-variance matrix) 獲得兩變數 (或多變數) 間最高相關係數下之時空分佈特徵，亦即呈現此兩變數 (或多變數) 間之主要耦合型態 (Bretherton et al 1992 ; Syu and Neeln 1995 ; Wang 2002 ; 張和余 2003)。透過 SVD 統計計算結果，得知兩物理場具有相當高之相關係數，因此藉由其一物理場奇異值分解法之結果，反求另一物理場 (Syu and Neeln 1995)，並於本文中將與實際觀測比較，以教驗此經驗大氣模式之準確度。本文分析資料之時間尺度為 1956~2001 年，共長 46 年，由於 Reconstruction 所提供之資料空間範圍為北緯  $60^{\circ}$  到南緯  $45^{\circ}$  間，因此本文在空間上所探討之範圍亦與所提供之海平面溫度範圍相同，為了計算便利，本文所採用之網格資料內差為  $5.0^{\circ} \times 5.0^{\circ}$  經緯網格。

### 三、海平面溫與近地面風場時空年際變化特徵

為了探討海平面溫度與近地面風場之年際變化特徵，吾人使用海平面溫度與 1000hpa 之 u、v 風場作奇異值分解分析，圖一為濾除季節效應後之第一個奇異值分解 (SVD1) 結果，由 SVD1 空間分佈 (A 圖) 顯示，除了北太平洋與少部分南太平洋為負值變異區外，其餘包括印度洋、大西洋、太平洋東、西部皆為海平面溫度正值變異區，由風場圖視之由於海溫的正負變異分佈，造成在印度洋東部與南美秘魯外海太平洋東部等正值變異區上空出現氣流符合現象，主要輻合區皆位於正值海溫區，在亞洲東部之西太平洋地

區南來氣流影響，該區之海平面溫度亦為上升趨勢。此些現象更證明了海平面溫度與低層風場間有相當高的交互作用關係 (Rasmusson 1982 ; David et al 1998)。由 SVD1 主分量時間序列 (B 圖) 所示，海平面溫度與風場間變異量相關係數為 81.31%，此變異型態為一明顯之年代際空間變化，1956 年到 1975 年主分量平均值為 -0.277，1982 年到 2001 年之平均值為 0.275。1976 年到 1981 年為一年代際轉變期，由上述可知 1976 年後大範圍之海平面溫度皆有上升之趨勢。SVD 計算結果，提供了年代際變化之證據。也由於溫度大範圍上升，也許也提供了全球暖化的另一證明。

圖二為海平面溫度與風場之第二個奇異值分解結果，由其空間分佈 (A 圖) 可見，海溫主要正值變異中心位於南美洲秘魯與厄瓜多外海往西延伸到換日線附近之赤道東太平洋地區。在西太平洋地區與負熱帶太平洋地區為一馬蹄形之負值區，其中以西南太平洋區之負值較為明顯，印度洋區為微弱之正值區，大西洋呈南北波列型態分佈，在赤道地區有明顯西風距平分量，主要輻合區位於  $180^{\circ}$  到西經  $120^{\circ}$  赤道區之海溫正值區，此變異量型態為 ENSO 成熟時期之海溫與風場分佈 (Syu and Neeln 1995 ; 張和余 2003)，由主分量時間序列 (B 圖) 知，主分量隨時間演變之相關係數 (COEF) 為 75.96%，此兩物理場有相當高之相關係數，由時間序列可知最強之主分量發生時間為 ENSO 成熟時之 12 月~隔年 1、2 月間，如 (1957/58、1965/66、1972/73、1982/83、1986/88、1997/92、1994/95、1997/98 等)。

經由 SVD1 (圖 1) 有明顯之年代際變化，吾人嘗試以 1956 年~1975 年與 1982 年~2001 年觀測資料分別做奇異值分解分析，探討 ENSO 是否隨年代際變化而有不同。並得知 1976 年~1982 年前 ENSO 影響與其後

之影響不同。由於本文主要討論太平洋地區之有效模擬程度，因此比較兩兩之空間分佈差異，劃分了 Northern Central Pacific (NCP)(60°N ~ 30°N, 140°E ~ 120°W), Equatorial Central Pacific(ECP)( 15°N ~ 15°S, 160°E ~ 120°W), Clod tongue(CT) (15°N~30°S, 100°W~80°W), Western North Pacific(WNP) ( 15°N ~ 45°N, 110°E ~ 140°E), 四區。於第四、五節中做比較。

#### 四、經驗大氣模式對 El nino 模擬準確度教驗

吾人以 (SVD) 分析 1956 年~2001 年近地面風場與海平面溫度之結果前 7 個 SVD 計算結果為經驗大氣模式背景，藉由海平面溫度資料反求當時之近地面風場值。本文以近年來氣候場變異最大的 ENSO (1997/98) 為實驗目標，並為凸顯 ENSO 肇始、成熟到衰退一完整生命期，將所模擬之結果，9、10、11 月之模擬平均值為增暖時期之模擬值，12、隔年 1 與 2 月之模擬平均值為成熟時期之模擬值，3、4、5 月之模擬平均值為消散時期之模擬值，並逐一與觀測平均值教驗之。主要校驗區域為上一章所定之 NCP, ECP, CT, WNP 四區。圖三為 1997/98 ENSO 之觀測風場距平值，上圖為增暖期之模擬值，中圖為成熟期之模擬值，下圖為消散期之模擬值，圖四為 1997/98 ENSO 之模式模擬風場距平值，與圖三校驗之。由於本模式所使用之背景資料限於海平面溫度與近地面風場交互作用資料，因此適用於以正壓主導之熱帶區，而在中、高緯以斜壓帶主導之天氣，由於海溫與風場間作用較無如熱帶直接，本模式在中、高緯地區之預報度較差，在時間上越接近海溫異常變化成熟 (ENSO) 期預報度越高。(Anderson 1999, 陳等 2003)。

#### 五、以不同資料背景之經驗大氣模式模擬準確度教驗

吾人以 1956 年~1975 年 20 年之 SVD1 ~ SVD7 為模式背景反求 1997/98 ENSO 肇始、成熟、衰退一完整生命期，並教驗以不同背景值所做之模式模擬，其準確度為何，圖五為以 1956~1975 年 SVD 為模式背景所做之模擬 1997/98 ENSO 生命期 (CASE1)，增暖期在圖五 WNP 區以西南風距平為主，並逐漸轉為西北風型態，與觀測較相近，ECP 區出現西風距平與觀測相近，但在 140°W 附近即由西風轉為跨赤道之西北風距平，在 CT 區圖五與觀測相似出現跨赤道之北風距平，在 NCP 地區 1956 年~1976 年 SVD 為背景值之模擬與觀測有所差異。成熟期於圖五 WNP 區有明顯西南風距平，分佈型態與觀測值相似，但強度方面其值偏弱，日本地區為南、東南風距平，與觀測值為東南、東風距平有些許差異，在 ECP 區圖五在北半球為東北風距平，南半球為西北風距平與觀測值以跨赤道之北風距平為主型態有些許不同，主要輻合帶位於赤道附近，較觀測值偏北，在 CT 區南半球進赤道風較觀測值強，但其輻合位置與觀測值相近，在 NCP 區模擬值較觀測值偏弱，而其主要之氣旋特徵未能完整模擬。消散期在 WNP 區成功模擬出與觀測相同之以西南風距平為主之天氣型態，在 ECP 區風場以跨赤道東北風為主，其輻合帶位置較觀測偏北，在 CT 區所模擬之南風距平較觀測值過強，以致形成跨赤道南風距平與觀測主要輻合帶在赤道附近情況不符，在 NCP 區圖三觀測值出現一明顯西南轉南之風場距平，但在此區皆未能成功模擬出該區特徵。

由此可知由於年代際變化影響，使得模式模擬之準確度降低，由於大範圍氣候改變，使得過去氣候背景值污染到現在預報模式。在 ENSO 成熟期 NCP 地區模式模擬之準確度較高，其餘時期之準確度較低，隱喻在 ENSO 成熟期在中、高緯度地區之海氣交互

作用較為明顯且單純、直接。

## 六、總結與討論

由奇異值分解法 (SVD) 濾除季節效應計算 1956~2001 年之 SST 與近地面風場結果, 由 SVD1 得知在 1976~1981 年為一明顯年代際變化期, 除北太平洋與小範圍之南太平洋海域外, 大部分海域 SST 皆有增溫趨勢, SVD 不但提供年代際變化證據外, 亦提供了近年來全球暖化之另一證明。相較於 SVD1 特徵, SVD2 所表示為 ENSO 成熟期之空間分佈, 空間特徵向量分佈上, 除了在熱帶赤道區有明顯西風暴潮特徵, 在東太平洋到換日線附近熱帶區為一明顯之正值, 而西太平洋為一明顯馬蹄形負值 SSTA 分佈。

由奇異值分解法 (SVD) 分析近地面風場與海平面溫度之結果, 得知此兩物理有相當高度之正相關, 吾人以前 7 個 SVD 計算結果為經驗大氣模式背景, 藉由海平面溫度資料反求當時之近地面風場值。並以近年來氣候場變異最大的 ENSO (1997/98) 為實驗目標, 其結果 El Nino 時期平均模擬值較為接近觀測值, WNP 區之模擬較前一實驗準確度高, 在 NCP 區域海平面溫度與近地面風場之相關性較低, 因此使用海平面溫度反求近地面風場之效果較差, 另一方面本文所使用之大氣經驗模式屬為統計型模式, 在中、高緯度區為斜壓帶主導之天氣現象, 在動力、物理上都較為複雜, 因此較無法準確模擬該區之氣流分佈型態。

為了瞭解以不同奇異值分析資料為模式背景, 所求得之模擬準確度為何。吾人以 1956 年~1975 年 (CASE1) 20 年之 SVD1~SVD7 為模式背景反求 1997/98 ENSO 肇始、成熟、衰退一完整生命期, 並教驗以不同背景值所做之模式模擬, 實驗結果明顯顯示出, 所模擬之日期包含在其背景值中之模擬準確度較高。但現今氣候狀態正處於另一年代際變化

之轉變期, 是否以現今時間統計背景之模式仍有較高準確度之預報, 或以 CASE1 之統計背景之預報較為準確, 還有待下一步研究、教驗。本文僅以觀測之海溫透過 SST 與 WIND 之 SVD 結果實驗, 將來亦可配合中渡複雜海洋模式或海洋環流模式 (Ocean GCM) 做為一大氣與海洋之耦合模式, 並使之真正有預報之能力, 改善目前短期氣候預報之準確度, 使未來更有能力掌握短期氣候之變化。

## 參考文獻

- 張振璋, 余嘉裕, 2003: 大氣海洋系統年際變異度之初步分析。 *大華岡理科學報*, **20**, 209-228.
- 陳昭銘, 陳仁曾, 呂芳川, 郭淑玲, 胡志文, 2003: CWB GFS 模擬亞洲夏季季風環流之可預報度、準確度與海溫變化之關係。 *大氣科學*, **31**, 355-373.
- A. V. Fedorov, S. L. Harper, S. G. Philander, B. Winter, and A. Wittenberg, 2003: How predictable is El Nino? *Bull. Ame. Meteor. Soc.*, **15**, 911-919.
- Anderson, J., H. M. Van den Dool, A. Barnston, W. Chen, W. Stern, and J. Ploshay, 1999: present-Day Capabilities of Numerical and Statistical Models for Atmosphere Extratropical Seasonal Simulation and Prediction. *Bull. Ame. Meteor. Soc.*, **80**, 1349-1361.
- Brankovic, C., and T. N. Palmer, 2000: Seasonal skill and predictability of ECMWF PROVOST ensemble. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **126**, 2035-2067.
- Bretherton, C. S., C. Smith, and J. M. Wallace, 1992: An inter-comparison of method for finding coupled patterns in climate data. *J. Climate*, **5**, 541-560.
- M. Laft, D. Anderson, T. Barnett, M. Cane, R.

Kleeman, A. Leetmaa, J. O rien, A. Rosati, and E. Schneider, 1998: A review of the predictability and prediction of ENSO. *J. Geo. Res.*, **103**, 14375-14393.

Rasmusson, E. , and T. H. Carpenter, 1982: Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Nino. *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 354-384.

Syu, H.-H., and J. D. Neelin, 1995: Seasonal and interannual variability in a hybrid coupled GCM. *J. Climate*, **8**, 2121-2143.

圖目錄

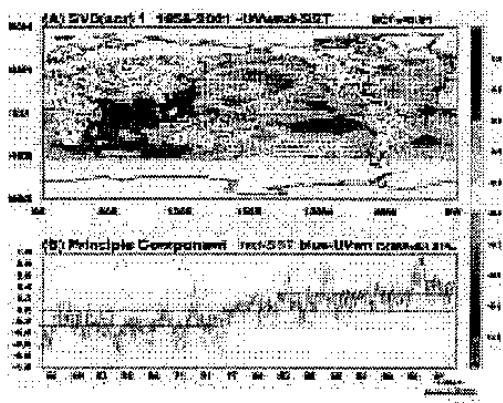


圖 1：濾除季節效應後 1956 年到 2001 年海面溫度與 1000hPa 風場之第一個奇異直分解 (SVD1) 分佈，可解釋變異度佔總變異量之 45.61%，兩變異量相關係數達 81.31%，1956 年到 1975 年主分量平均值為 -0.277，1982 年到 2001 年之主分量平均值為 0.275。

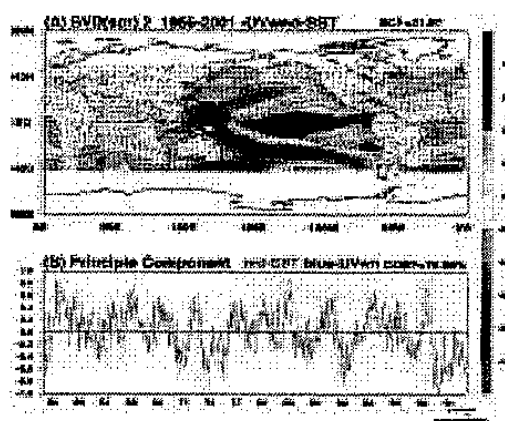


圖 2：同圖 1，為第二個奇異直分解 (SVD2) 分佈，可解釋變異度佔總變異量之 21.97%，兩變異量相關係數達 75.96%。

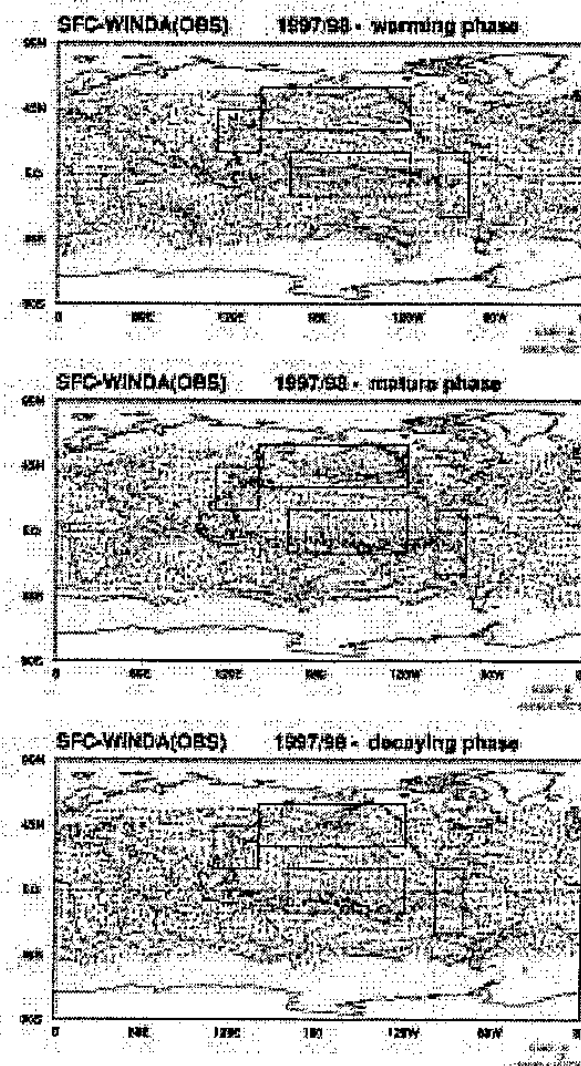


圖 3: 1997/98 ENSO 觀測 1000hpa 風場平均值(上圖為 1997 年 9、10、11 月，中國為 1997 年 12 月、1998 年 1、2 月，下圖為 1998 年 3、4、5 月)。

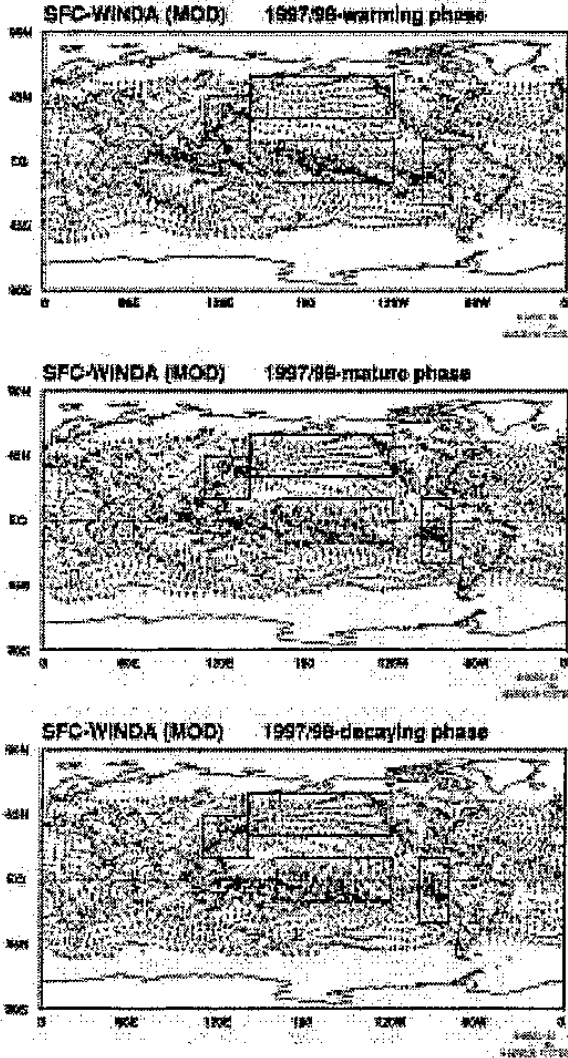


圖 4: 1956 到 2001 年 SVD1~SVD7 為背景之經驗大氣模式模擬 1997/98 ENSO case 風場平均值。

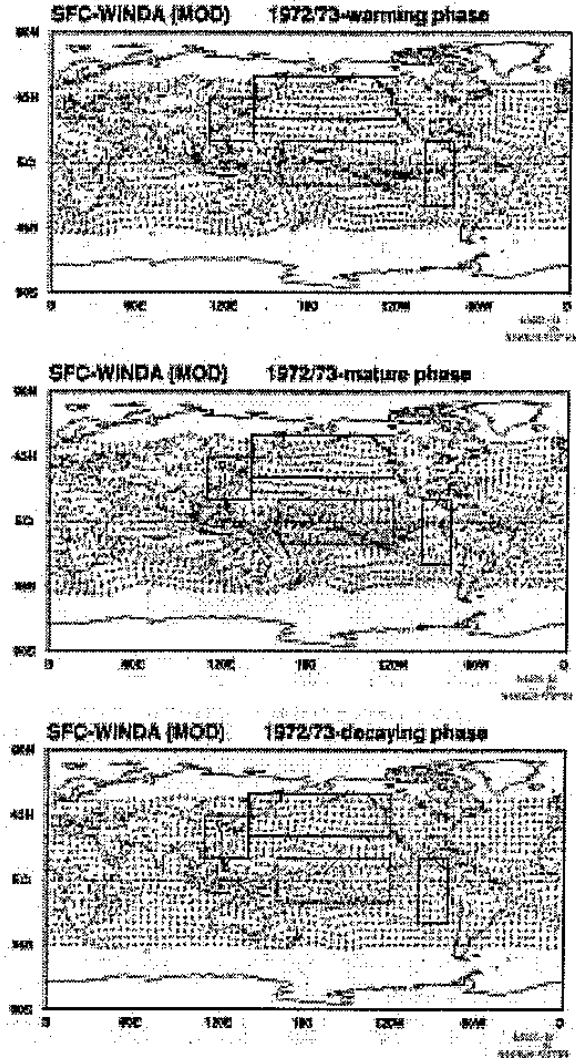


圖 5: 1956 到 1976 年 SVD1~SVD7 為背景之經驗大氣模式模擬 1972/73 ENSO case 風場平均值。